

PESQUISAS SOBRE O MECANISMO DE DESCARGAS EM DETECTORES DE FAÍSCA E OPTIMIZAÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO

Josemary A.C. Gonçalves², Marcello Damy de Souza Santos^{1,2} e Carmen Cecília Bueno^{1,2}

¹Pontifícia Universidade Católica de São Paulo — PUC/SP

²Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares — IPEN/CNEN-SP, C.P. 11049, 05499-970, São Paulo, SP, Brasil

Abstract

A systematic study of the operation characteristics of Spark Counters with air filling and other gases, at atmospheric pressure, was carried out for alpha particles (^{241}Am). Anode wires of different chemical compositions and diameters were used. The properties of these counters such as very low background, high efficiency of detection for heavily ionizing particles, their directional properties and their negligible efficiency for beta and gamma radiation show that they can be used with great advantage over conventional counters in several Nuclear Physics problems.

Introdução

Contadores baseados no efeito corona são conhecidos desde os primórdios da Física Nuclear graças aos trabalhos pioneiros de Greinacher⁽¹⁾ com os contadores de ponta. Um progresso considerável foi feito por Chang e Roseblum⁽²⁾, ao aperfeiçoarem o contador desenvolvido por Greinacher, introduzindo assim o contador de faísca (*spark counter*), que apresentava as vantagens de discriminação de uma radiação de fundo indesejável com uma maior sensibilidade e eficiência que o contador de ponta.

Dessa época até a primeira metade da década de 1960, diversos trabalhos⁽³⁻⁹⁾ interessantes sobre esses detectores apareceram na literatura e seu uso poderia desempenhar um papel importante na ciência e na tecnologia nucleares não fosse a circunstância de que os dados apresentados por um pesquisador dificilmente podiam ser reproduzidos por outro e com frequência mostravam grandes contradições com os anteriores, fato que levou ao seu abandono como instrumento de pesquisa confiável.

O enorme progresso obtido na última década na compreensão dos fenômenos que ocorrem em descargas gasosas de vários tipos e a introdução dos chamados gases "mágicos"⁽¹⁰⁾, nos levaram á conclusão que esse tipo de detector estava a exigir um re-estudo sistemático de suas propriedades, utilizando tecnologia de gases e de eletrônica avançadas que não eram disponíveis na época das pesquisas pioneiras.

Ao desenvolvermos as pesquisas que vão ser aqui relatadas, tivemos em vista estudar as possibilidades de novos modelos desses contadores com o intuito de adequá-los às pesquisas de física de reatores, de dosimetria ambiental e de pesquisas com aceleradores de partículas onde o *background* beta-gama ou gama é elevado.

Os resultados obtidos até a presente data são altamente animadores e representam o resultado e a análise de mais do que cem medidas programadas que nos permitiram obter uma visão mais profunda dos seus problemas fundamentais, e diminuir de maneira apreciável os danos de radiação nos eletrodos e aumentar a sua eficiência de detecção, tornando esse detector um instrumento mais confiável — o que nos leva a crer que o objetivo proposto foi alcançado em sua plenitude.

Ao mesmo tempo, novas linhas de desenvolvimento resultaram desses trabalhos, abrindo assim o campo para novas pesquisas, como por exemplo a dos detectores

de localização e o registro ultrassônico, que poderão ser realizadas quando equipamento de maior precisão para o estudo dos fenômenos for disponível em nosso laboratório.

Princípio de funcionamento do detector

Os contadores de faísca se caracterizam pela detecção de radiação de elevado poder de ionização, através de uma descarga disruptiva que se estabelece, para cada partícula incidente, entre dois eletrodos, cuja separação é de poucos milímetros e onde um deles, geralmente o anodo, apresenta pequeno raio de curvatura. Os eletrodos podem se apresentar sob forma de ponta-plano (contador de Greinacher), fio-fio, fio-placa (contador de Chang e Rosenblum) e placas paralelas, dependendo de sua utilização.

No caso da geometria fio-placa, contemplada neste trabalho, e que deu origem aos detectores proporcionais multifios de Charpak⁽¹¹⁾, o detector consiste de um fio de diâmetro em torno de $100\ \mu\text{m}$ (anodo), estendido paralelamente, a uma distância da ordem de 1,0 mm, de uma placa metálica plana (catodo). Geralmente o gás de enchimento utilizado é o ar á pressão atmosférica. Quando um potencial de cerca de 3 kV é aplicado (através de uma resistência de extinção elevada (R), entre fio e placa, uma faísca (visível e audível) é observada para cada partícula alfa que passa muito próxima ao fio.

Durante a faísca, o potencial no fio sofre uma queda aproximadamente igual á diferença entre a tensão aplicada e o potencial de ionização do gás (cerca de 15 eV). Isto indica uma amplitude de impulso em torno de 3 kV, e portanto não há necessidade de um sistema de amplificação para os pulsos (na realidade torna-se necessário atenuá-los). Os pulsos assim gerados são formatados e enviados a um *scaler*, por meio de um divisor de tensão, de modo que o número de faíscas, ou de partículas alfa incidentes entre o fio e a placa, possa ser determinado.

Portanto, como consequência do processo de formação da descarga em faísca ou disruptiva, esse tipo de detector permite a detecção de partículas pesadas com uma excelente discriminação da radiação de fundo beta e/ou gama, o que constitui uma de suas características fundamentais e seu maior atrativo, além de promover uma seleção da radiação em relação a sua direção de incidência (discriminação espacial).

Arranjo experimental

A medidas realizadas empregaram geometria fio-plano para os eletrodos do contador, que neste caso consistiu de um (ou mais) fio fino como anodo perfeitamente estendido, por meio de espaçadores de *plexiglass*, sobre uma placa de aço inoxidável, (que serviu como catodo do detector), opticamente polida e com as bordas arredondadas para evitar descargas espontâneas. Um cuidado especial foi tomado para garantir o paralelismo entre o fio e placa metálica, a fim de manter a simetria do campo elétrico aplicado ao longo do fio anodo. Esse sistema foi montado sobre uma placa de *plexiglass* conforme mostram as Figs. 1a e 1b (vista lateral e multifios).

Com a finalidade de estabelecer a alta tensão nos fios, foram dispostos perpendicularmente á placa de lucite capilares de níquel de 1,0 mm de diâmetro conforme mostra a Fig. 1b, que tinham também a função de guia para os fios. Estes eram então tensionados por meio de parafusos em um sistema análogo ao das cravelhas de um instrumento musical de cordas.

A posição da fonte radioativa em um plano $x-y$ podia ser variada de 0,5 mm em 0,5 mm através de uma platina de microscópio disposta sobre o contador. Os colimadores da fonte radioativa foram fixados a esta platina por meio de uma haste de alumínio.

Nas medidas utilizou-se a radiação alfa proveniente de uma fonte de ^{241}Am depositada em uma folha de níquel, de $8,0 \times 16,0\text{ mm}$ de área e $2\ \mu\text{Ci/cm}$ de atividade. Foram utilizados para essa fonte vários colimadores tipo *soller* (construídos em nosso laboratório) de secção retangular com aberturas de $250\ \mu\text{m}$; 1,0 mm e 1,5 mm, e de secção circular de $500\ \mu\text{m}$ de diâmetro. Os dois primeiros de vidro e os últimos de níquel.

Para o estudo da resposta do detector com diferentes gases e misturas, foi construída uma caixa estanque em lucite (para permitir a observação das faíscas) de $60 \times 120 \times 180\text{ mm}$. Essa caixa possui entrada e saída de gás, e permite a variação das posição angular e transversal da fonte radioativa. Além disso, possui cinco entradas independentes para alta tensão e há a possibilidade de observação de pulsos provenientes do anodo e catodo simultaneamente.

A pressão do gás é a atmosférica com regime de fluxo contínuo através do borbulhamento em óleo de alto vácuo. Entretanto, a pressão pode ser variada através de uma válvula do tipo agulha existente na entrada de gás.

Inicialmente, os pulsos gerados no anodo do detector pela passagem da radiação alfa (cuja amplitude é de alguns milhares de volts) eram enviados a um circuito divisor de tensão compensado para evitar a deformação dos impulsos, projetado e construído em nosso laboratório, e observados por meio de um osciloscópio digital (Tektronix 2430B). A seguir, esses pulsos, com amplitude de alguns volts, eram introduzidos em um analisador monocanal (Ortec 406A), e desse introduzidos em um *scaler* (Ortec 776). Desta forma, o número de faíscas ou de partículas alfa que passavam próximas ao fio anodo podia ser determinado.

No ar, à pressão atmosférica, os impulsos apresentam magnitude uniforme, tempo de subida inferior a 10 ns e duração que depende apenas da constante de tempo do circuito.

Outra forma para obtenção de um pulso de menor amplitude e baixa impedância é a utilização de uma resistência de valor adequado entre o catodo (placa) do contador e a terra. O circuito utilizado para as medidas está representado na Fig. 2.

Resultados

Estudo do contador com diferentes fios anodos

Inicialmente, procurou-se verificar a resposta do contador em geometria fio-plano para as partículas alfa do ^{241}Am em função de fios anodos de natureza e diâmetros diferentes a várias distâncias do catodo. Foram utilizados fios de tungstênio (W) de 75 e 127 μm de diâmetro, de molibdênio (Mo) de 110 μm de diâmetro, de nióbio (Nb) de 250 μm de diâmetro e de tungstênio revestido com ouro (W+Au) de 25 e 50 μm de diâmetro. Os fios foram dispostos a 1,0; 1,5 e 2,0 mm da placa metálica (catodo). O gás de enchimento foi o ar à pressão atmosférica. A fonte de ^{241}Am foi colimada (colimador de 1,0 mm) e mantida a 30,0 mm do catodo. Nessas condições, construíram-se as curvas características para as diferentes configurações. As Figs. 3, 4 e 5 mostram os resultados obtidos

para os diversos fios anodos a 1,0; 1,5 e 2,0 mm respectivamente. A análise das curvas evidencia a existência de patamares ≥ 1800 V de extensão e mostra que, para fios com diâmetros menores, a tensão de início de operação é também menor, porém com uma diminuição de eficiência de detecção quando comparada aos de maior diâmetro. Verificou-se ainda que para distância anodo-catodo (d_{A-C}) de 1,5 mm a eficiência é maior (para todos fios) quando comparada àquela de 1,0 mm; entretanto, há também um aumento da tensão de operação para todos os fios. Para distância anodo-catodo de 2,0 mm o potencial necessário para funcionamento satisfatório do detector (independentemente dos fios anodos utilizados) é bastante elevado, o que desestimula seu uso nessa condição. Para distância de 3,0 mm não observou-se a formação de faíscas entre os eletrodos até uma tensão de 5 kV.

Este comportamento está relacionado com a condição de um intenso campo elétrico (no ar em torno de 24 kV/cm) e elevada densidade de ionização para produção de uma descarga disruptiva e a consequente detecção da radiação alfa pela faísca que atravessa a região entre anodo e catodo. Para fios de maior diâmetro a região de campo elétrico intenso se estende para distâncias maiores do fio, enquanto que para aqueles de menor diâmetro o campo elétrico é mais intenso na região bem próxima a sua superfície apenas, o que determina uma maior eficiência de contagem para os fios de maior diâmetro (Mo de 110 μm ; W de 127 μm e Nb de 250 μm). Agora o aumento na eficiência de detecção com o aumento da distância entre os eletrodos está vinculado ao fato das medidas terem sido realizadas na parte ascendente da curva de Bragg para o ^{241}Am .

Quanto à natureza do fio empregado, observou-se que os fios revestidos com ouro, apesar de possuírem excelentes patamares, apresentam um desgaste prematuro do revestimento, devido a elevada temperatura atingida na faísca. De outro lado, os fios de Mo e Nb possuem temperatura de fusão inferiores à do tungstênio, maior tensão de vapor que o tungstênio e portanto menor resistência ao dano causado pela faísca. Além disso, o W apresenta propriedades mecânicas como elasticidade e rigidez, necessárias não só ao seu manuseio como a fixação dos fios no contador e mostraram-se mais adequados para sua operação levando-se em conta o compromisso entre eficiência de detecção e estabilidade de resposta.

Pelo exposto acima, e dentro da disponibilidade de nosso laboratório, optou-se pela utilização para os estudos seguintes de fios de W de 127 μm de diâmetro.

2. Estudo da região sensível do detector

A seguir, com a finalidade de estabelecer a região sensível do detector ao redor do fio anodo, estudou-se a variação da taxa de contagem, para determinada tensão aplicada, em função da posição transversal da fonte de ^{241}Am colimada (colimador de abertura igual a $500\ \mu\text{m}$) em relação ao eixo do fio anodo, para partículas incidentes perpendicularmente ao plano do catodo.

A Fig. 6 representa os resultados obtidos para fios de W de $127\ \mu\text{m}$ e $75\ \mu\text{m}$ de diâmetro e Mo de $110\ \mu\text{m}$ de diâmetro e mostra que a partícula alfa deve passar bem próxima ao fio para produzir uma faísca entre anodo e catodo. Isto ocorre pois se os elétrons que constituem a avalanche gerada pela incidência da radiação estiverem a maiores distâncias do fio, a intensidade do campo elétrico, que varia com o inverso do cubo da distância do anodo ao catodo, assim como a quantidade de ionização produzida não serão suficientes para conseguir a ruptura do gás entre os eletrodos. A diferença, ainda que pequena, entre a contagem e largura das curvas confirma o comportamento da eficiência em função do diâmetro do fio visto anteriormente.

O mesmo acontece quando estuda-se a variação da taxa de contagem em função do ângulo de incidência das partículas alfa provenientes da fonte de ^{241}Am (com colimador de $250\ \mu\text{m}$ de abertura) na região sensível do contador com fio anodo de W de $127\ \mu\text{m}$ de diâmetro. O resultado obtido está na Fig. 7 e mostra a propriedade seletiva desses contadores em relação à direção de incidência das partículas alfa, traduzida experimentalmente em um decréscimo da eficiência do contador com o aumento do ângulo de incidência, sendo quase nula para $\theta = 45^\circ$ e máxima para partículas incidentes segundo a normal ao plano do catodo.

3. Deterioração dos eletrodos do contador

Durante o intervalo de tempo em que ocorre a descarga disruptiva, o catodo de um detector de faísca é intensamente bombardeado por íons positivos, o que causa um aquecimento local pronunciado (cerca de 10.000°C) e portanto sua evaporação e alteração química da superfície, devido principalmente à formação de ozona. Este efeito é o responsável pelas descargas espúrias presentes quando o contador está em operação, e que constitui um dos mais importantes fatores que limitaram sua utilização até hoje.

Com a finalidade de interromper a descarga, e diminuir o número de íons positivos que chegam ao catodo, associou-se em série com o catodo do contador uma bobina de $1,2 \mu\text{H}$ e passou-se a observar os impulsos de seus terminais. Verificou-se que estes apresentavam-se sob a forma de uma oscilação fortemente amortecida, com tempo de recuperação (da primeira componente de Fourier) de $2 \mu\text{s}$ e tempo de subida inferior a 20 ns. As faíscas geradas apresentavam luminosidade fraca pois, quando da ocorrência da descarga e a queda de potencial no anodo, que dura cerca de 3 ps, a corrente i produzida ao passar pela bobina gera uma força eletromotriz, fem , de sentido oposto ao da corrente, dada por $fem = -L di/dt$, que em um pequeno intervalo de tempo ($\simeq 2 \mu\text{s}$) retorna ao catodo, diminuindo a diferença de potencial entre o fio e a placa, extinguindo portanto a descarga antes dos íons positivos chegarem ao catodo.

Desta forma o dano causado no catodo pelos ions positivos diminuiu consideravelmente aumentando a vida útil do detector pelo menos por um fator dois, além de aumentar a eficiência do contador, como pode ser visto na Fig. 8 que mostra as curvas características do detector (a) sem a bobina e (b) com a bobina em série com o catodo.

Uma outra maneira de minimizar os efeitos da faísca nos eletrodos foi introduzir em série com o catodo duas resistências em série, uma mais elevada de $180 \text{ k}\Omega$ a outra de 270Ω da qual são retirados os pulsos do catodo. Essas resistências limitam a corrente disponível para descarga, que no fio chega a 1 A, no pico, ocasionando também uma diminuição da luminosidade da faísca, o que mostra um menor número de íons presentes na descarga.

A curva característica para o contador, em geometria fio ($127 \mu\text{m}$)-plano, com o catodo aterrado por meio de uma resistência elevada mostrou que esta permite se obter uma equivalência na eficiência de detecção do contador, porém com uma vida útil maior. Quando comparada com a ação da bobina, a última apresenta a desvantagem de apresentar um pulso em forma de oscilação amortecida e de irradiar intensamente os pulsos.

Estes dois processos externos de diminuição do dano causado pelas faíscas nos eletrodos do contador constituem uma contribuição original deste trabalho e que permitem a utilização desse tipo de detector de forma confiável por maiores

períodos de tempo (um fator dois) em relação aos existentes, sem prejudicar sua eficiência de detecção.

4. Utilização de fios captadores (ou de guarda)

Com o objetivo de eliminar a influência eletrostática entre dois ou mais fios anodos ligados entre si, e desta forma aumentar a eficiência do contador, estudou-se sua resposta intercalando-se ao fio anodo de tungstênio de $127 \mu\text{m}$ de diâmetro, fios de maior diâmetro, no caso de $250 \mu\text{m}$, ligados ao terra do circuito e chamados de fios captadores (ou de guarda).

Inicialmente construiu-se a curva característica para o arranjo mais simples: com um fio anodo, um fio guarda ou captor e a placa, estando os dois últimos aterrados. A Fig. 10 mostra uma comparação entre as curvas características: (a) do detector com geometria fio-plano e (b) em geometria fio-captor-plano evidenciando um aumento significativo da eficiência de detecção do contador e indicando que essa configuração é a mais favorável para utilização desse tipo de detector, principalmente quando se tem vários fios anodos sensíveis.

5. Influência do "background" nas medidas

Conforme salientado no item II.1 os detectores de faísca são sensíveis apenas a radiação de elevada ionização específica (como as partículas alfa e fragmentos de fissão), em função do próprio mecanismo de formação da descarga disruptiva. Isso faz com que esse contador seja insensível a radiações beta e gama, promovendo uma discriminação natural da radiação de fundo.

Para verificar experimentalmente essa propriedade, mediu-se o número de impulsos devidos a partículas beta do P-32 (atividade de $0,1 \mu\text{Ci}$) e radiação gama do Cs-137 (atividade de $13,7 \mu\text{Ci}$), ambas durante 12 horas. O resultado, para o ar (à pressão atmosférica) foi de 9 contagens, portanto com uma taxa de contagem de $(0,75 \pm 0,25)$ cph.

Através dessa medida, pode-se concluir que a influência do *background* é desprezível, o que permitirá a utilização desse contador em aceleradores e reatores onde a radiação beta e gama de fundo é indesejável e intensa.

6. Estudos com diferentes gases

Finalmente, com o objetivo de estudar a resposta do detector com diferentes gases monoatômicos ou com agentes de extinção (*quenching*), procurou-se inicialmente verificar uma possível melhora na eficiência de detecção, tendo em vista os resultados obtidos para o contador com o ar.

Os primeiros gases estudados foram o argônio ultra-puro e a mistura P-10 (90% Ar + 10% CH₄). As curvas características da taxa de contagem em função da tensão para esses gases estão representadas na Fig. 11. Sua análise mostra que com o Ar (Ultra-Puro) e a mistura P-10 o contador apresenta uma maior eficiência de detecção, porém sem possuir um patamar extenso (400 V) na curva de contagem. Verificou-se também que com argônio, o contador inicia sua operação para tensão inferior que a mistura P-10, devido a presença do metano cuja função é a de absorver fótons. Outro fato observado é de que para tensões pouco acima do limiar de corona, tanto para o argônio quanto para mistura P-10, há o aparecimento de impulsos de menor amplitude e cuja frequência aumenta com a tensão aplicada.

A maior limitação na utilização da mistura P-10 está na formação de corrosão e de um depósito orgânico na superfície do catodo após alguns minutos de operação do contador. Isto determina uma diminuição da sua eficiência, ao mesmo tempo em que aumenta o valor da sua tensão inicial de funcionamento, provavelmente devido a dificuldades em se liberar elétrons do catodo pelo aumento do trabalho de extração do metal. Para o argônio este processo de "envelhecimento" do catodo não é tão significativo.

Conclusões

1. A sensibilidade do detector depende fortemente do ângulo de incidência da radiação e da distância entre a sua posição de incidência e o anodo do contador.

2. As condições físicas dos eletrodos determinam a estabilidade de operação do detector em termos de sua eficiência de detecção. Em condições ótimas, usando o ar como gás de enchimento, foi de 10⁷ impulsos; com outros gases, que não tenham reações com anodo e placa, será forçosamente melhor.

3. A existência de fios captadores aumenta a eficiência de detecção por causa do aumento da área útil de contagem; o uso de uma bobina no catodo introduz uma diminuição do tempo morto do contador que tem como consequência um aumento da taxa de contagem para fontes intensas.

4. O circuito utilizado no catodo, mediante associação de uma indutância e de resistências que provocam um amortecimento crítico da descarga apresenta ainda a vantagem de diminuir consideravelmente os danos de radiação nos eletrodos.

5. Os resultados até o presente mostram que, com uso das modificações discutidas nos itens 3 e 4, o contador é confiável e apresenta dados reprodutíveis, com uma vida de cerca de 10^7 impulsos por centímetro de anodo.

6. Com uso de vários fios, como descrito em nosso trabalho, a vida do contador deverá aumentar proporcionalmente ao comprimento total do anodo para um fluxo de radiação uniforme.

7. Os estudos do comportamento do detector com diferentes gases (ou misturas) estão em andamento e esperamos obter resultados ainda melhores no que concerne aos danos de radiação.

Referências

1. Greinacher, *Helv. Phys. Acta.* **7**, 360 (1934).
2. W.V. Chang and S. Rosenblum, *Phys. Rev.* **167**, 222 (1945).
3. R.M. Payne, *J. Sci. Instrum.* **26**, 321 (1949).
4. R.D. Connor, *Proc. Phys. Soc.* **64B**, 30 (1951).
5. T. Aoyama, T., *Nucl. Instrum. Meth.* **197**, 357 (1982).
6. Y.N. Pestov, *Nucl. Instrum. Meth.* **265**, 150, (1988).
7. R. Bouclier, *Nucl. Instrum. Meth.* **300**, 286 (1991).
8. M. Anelli et al., *Nucl. Instrum. Meth.* **300**, 572 (1991).
9. P. Fonte, et al., *Nucl. Instrum. Meth.* **310**, 572 (1991).
10. A.V. Zarubin, *Nucl. Instrum. Meth.* **A283**, 409 (1989).
11. G. Charpak and F. Sauli, *Nucl. Instrum. Meth.* **A162**, 405 (1979).

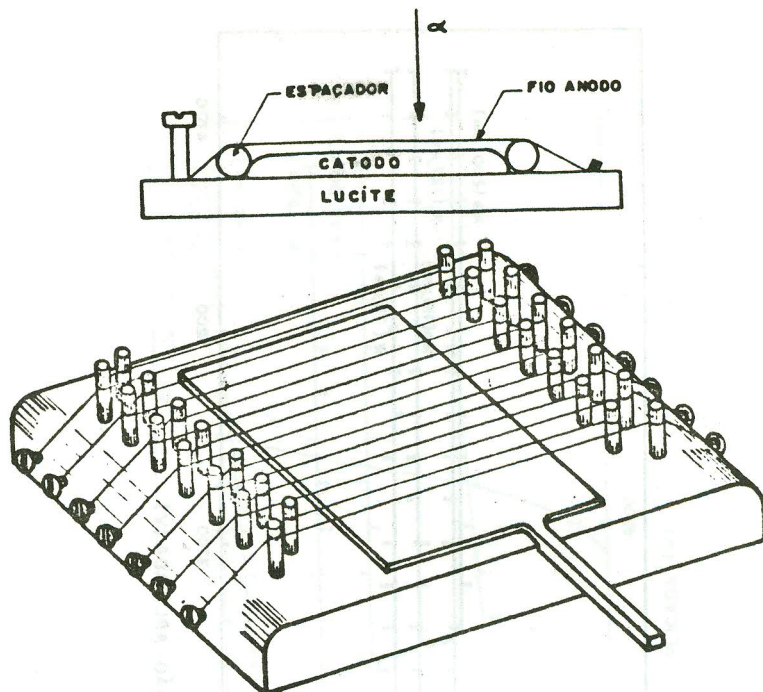


Fig. 1. Detector de faísca: a) vista lateral; b) arranjo multifios.

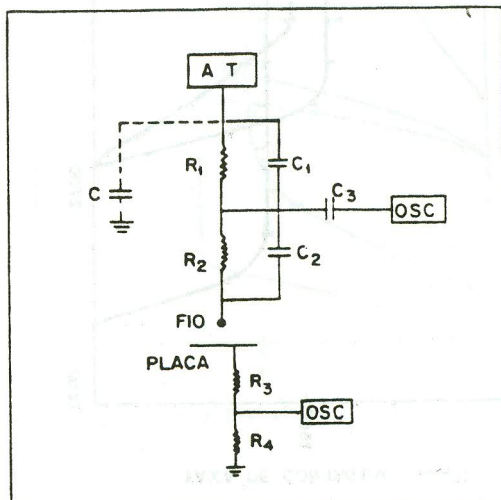


Fig. 2. Esquema do circuito divisor de tensão.

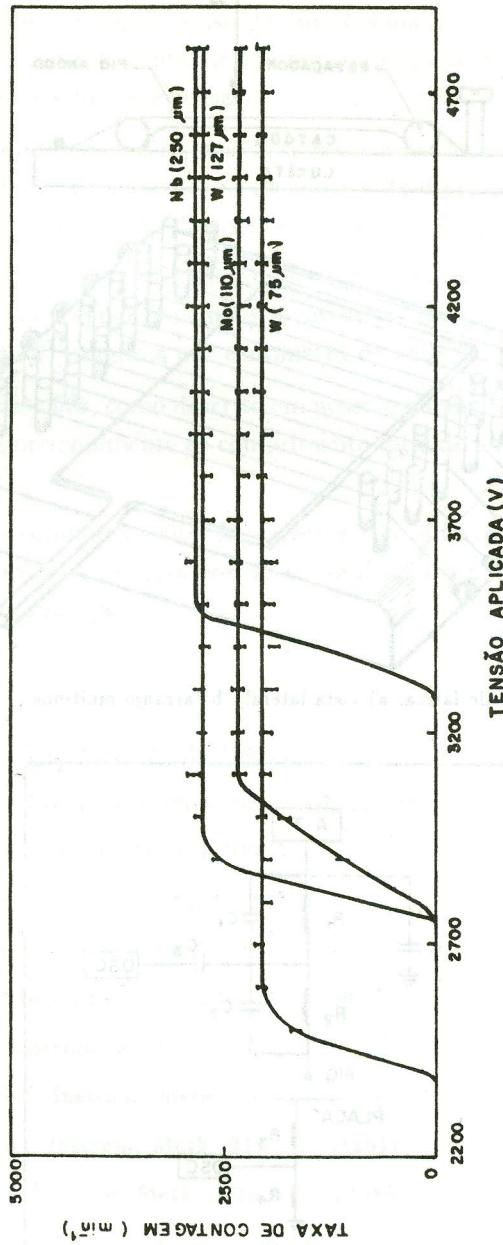


Fig. 3. Curva característica para diferentes fios anodos com $d_{A-C} = 1,0$ mm.

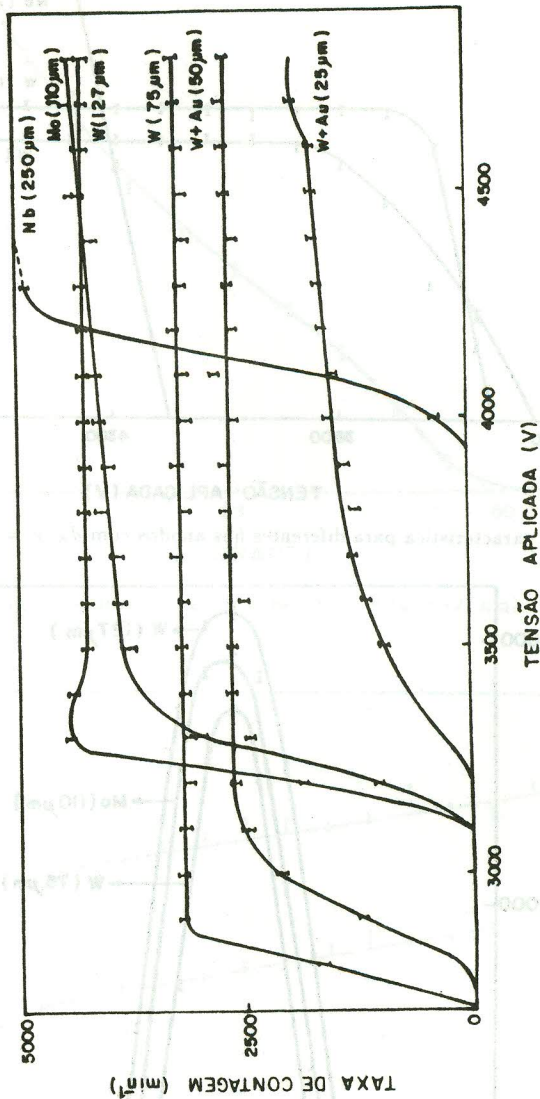


Fig. 4. Curva característica para diferentes fios anodos com $d_{A-C} = 1,5 \text{ mm}$.

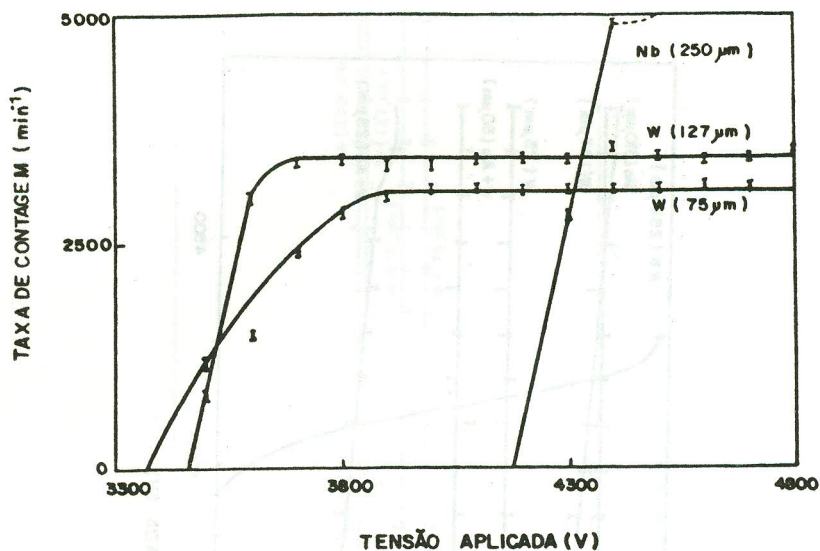


Fig. 5. Curva característica para diferentes fios anodos com $d_{A-C} = 2,0$ mm.

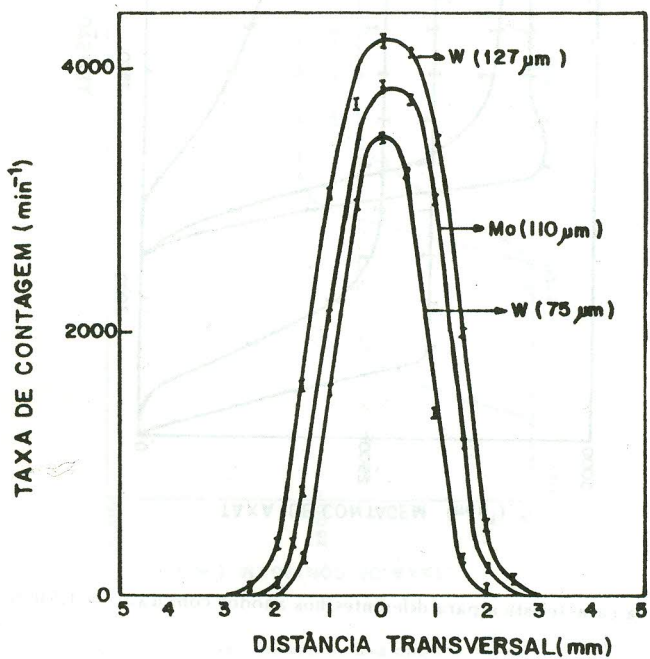


Fig. 6. Curva da sensibilidade transversal para diferentes fios anodos.

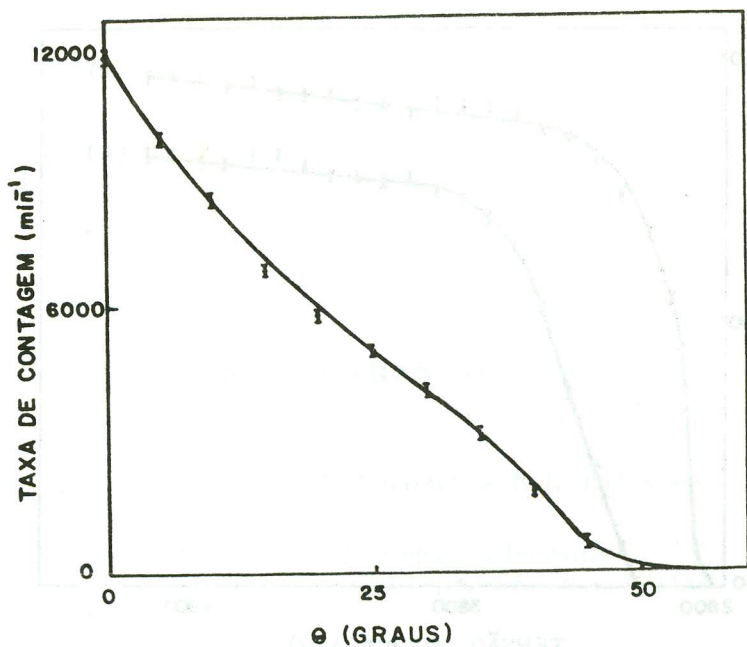


Fig. 7. Curva da sensibilidade angular para fio de W ($\phi = 127 \mu\text{m}$).

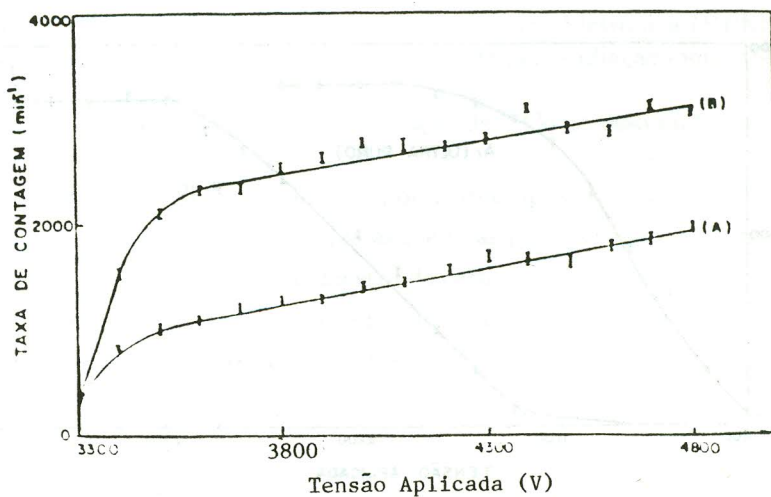


Fig. 8. Curva característica com fio anodo de W ($\phi = 127 \mu\text{m}$): a) sem a bobina, b) com a bobina.

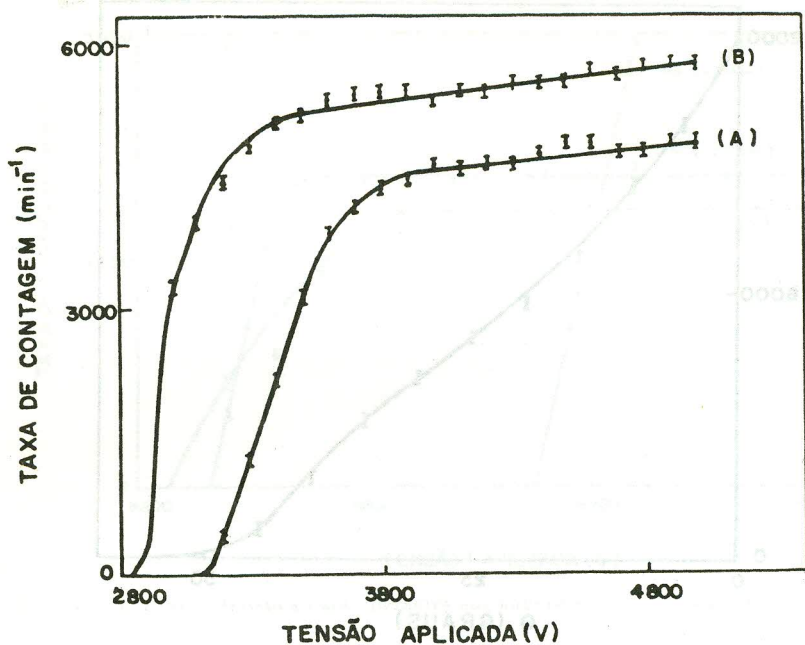


Fig. 9. Curva característica com fio anodo de W ($\phi = 127 \mu\text{m}$): a) geometria fio-plano; b) geometria fio-captor-plano.

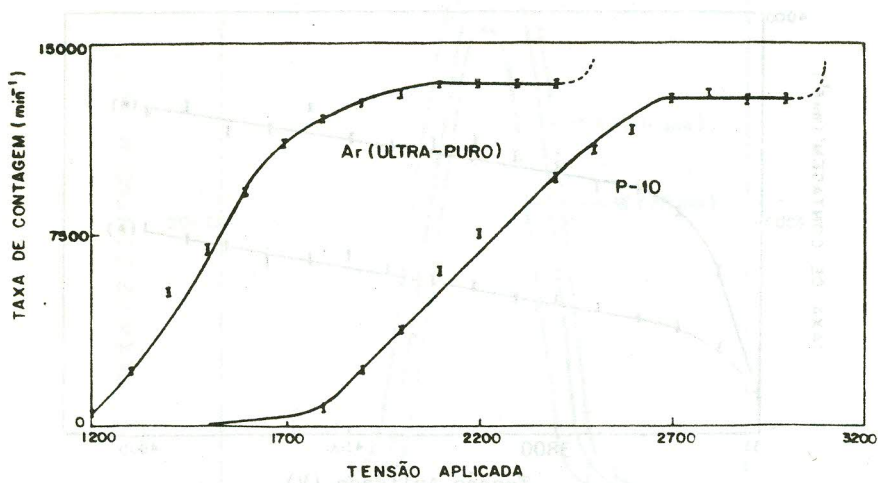


Fig. 10. Curva característica com fio anodo de W ($\phi = 127 \mu\text{m}$) com argônio ultra-puro e mistura P-10.